



⑮ **BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES
PATENTAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 197 10 358 A 1**

⑥ Int. Cl.⁶:
G 01 N 27/04
G 01 N 27/14
G 01 N 27/22
G 01 N 25/08

⑳ Aktenzeichen: 197 10 358.8
㉑ Anmeldetag: 13. 3. 97
㉒ Offenlegungstag: 24. 9. 98

DE 197 10 358 A 1

㉓ **Anmelder:**
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

㉔ **Erfinder:**
Hahn, Dietmar, Dr., 70839 Gerlingen, DE; Flik,
Gottfried, Dr., 71229 Leonberg, DE; Jauernig,
Alexandra, 71229 Leonberg, DE

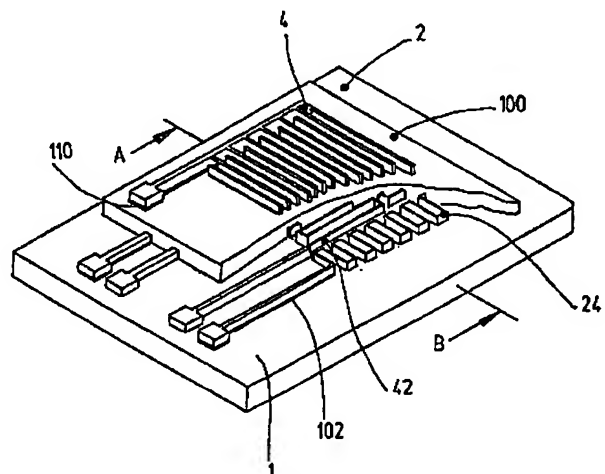
㉕ **Entgegenhaltungen:**
Sensors and Actuators A, Bd. 31 (1992), S. 60-67;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

㉖ **Mikrostrukturierter Sensor**

㉗ Die Erfindung betrifft einen Sensor, insbesondere zur Leitfähigkeits- und Kapazitätsmessung in Gasen oder Flüssigkeiten, mit einer dreidimensionalen, interdigitalen, auf einem Substrat befindlichen Elektrodenanordnung, wobei der Sensor zusätzlich einen integrierten Temperaturwiderstand (24) aufweist.



DE 197 10 358 A 1

Beschreibung

Stand der Technik

Die Erfindung betrifft einen Sensor zur Leitfähigkeits- und Kapazitätsmessung in Gasen oder Flüssigkeiten gemäß dem Oberbegriff des Hauptanspruchs.

Kombinierte Leitfähigkeits- und Kapazitätsmessungen in Flüssigkeiten sind beispielsweise bei der Charakterisierung von Benzin-/Methanolgemischen, bei der Feststellung des Wassergehaltes in Bremsflüssigkeiten, bei der Analyse von Batteriesäuren und bei der Bestimmung der Öldegradation über eine Messung der alkalischen Reserve von Bedeutung. Da insbesondere die Leitfähigkeit Temperaturabhängigkeit aufweist, sind derartige Analysen vorteilhafterweise mit Temperaturmessungen zu koppeln. Eine Kombination von Leitfähigkeits-, Kapazitäts- und Temperaturmessungen zur Charakterisierung von Benzin-/Methanolgemischen ist bereits aus Binder, J. (Sensors and Actuators A, Band 31, (1992), 60-67) bekannt und als Sensor realisiert worden. Dieser Sensor ist jedoch groß und von seinem Aufbau her sehr komplex.

Vorteile der Erfindung

Die Erfindung betrifft einen Sensor, insbesondere zur Leitfähigkeits- und Kapazitätsmessung in Gasen oder Flüssigkeiten, mit einer dreidimensionalen, interdigitalen, auf einem Substrat befindlichen Elektrodenanordnung, wobei der Sensor zusätzlich einen integrierten Temperaturwiderstand und vorzugsweise zusätzlich einen integrierten Heizwiderstand aufweist. Der vorzugsweise mäanderrförmig ausgeführte Temperaturwiderstand dient der Temperaturmessung in Fluiden oder Gasen. Der auch vorzugsweise mäanderrförmig gestaltete Heizwiderstand dient der Erhitzung des Gases und der Flüssigkeit zwischen den Interdigitalelektroden oder der Erhitzung eines sensitiven Materials, welches in die Elektrodenstruktur eingefüllt wurde (beispielsweise drucktechnisch). Je nach Anwendungszweck, beispielsweise Analyse von Benzin/Methanolgemischen, Überwachung, kann der Heizwiderstand zur Vereinfachung der Struktur weggelassen werden.

In vorteilhafter Weise sieht die Erfindung dabei vor, das Substrat aus Silizium auszuführen, wobei dieses bereits eine integrierte Auswerterschaltung enthalten kann. Es sind jedoch, je nach Anwendungsfall, auch andere Substrate wie Keramik, Glas oder Kunststoffe vorteilhaft einsetzbar.

Die Erfindung sieht einen miniaturisierten Sensor vor, der für die Charakterisierung einer Vielzahl von Fluiden und Gasen einsetzbar ist, bei denen die Analyse auf Leitfähigkeits- und Kapazitätsmessungen in Fluiden oder Gasen direkt oder einer chemisch sensitiven Substanz zwischen den Elektroden beruht. In vorteilhafter Weise wird durch den dreidimensionalen Elektrodenaufbau eine höhere Sensorempfindlichkeit und eine geringere Störfähigkeit erreicht, sowie eine Miniaturisierung ermöglicht. Der erfindungsgemäße Sensor kann in hoher Präzision mittels einer Kombination an sich bekannter Verfahrensschritte hergestellt werden, wobei bei der Benutzung von Silizium als Substrat im Verlauf der Herstellung in vorteilhafter Weise eine Silizium-Auswertelekttronik mit auf dem Chip (Substrat) integriert werden kann.

Die Erfindung betrifft auch eine Erweiterung des dargestellten Sensors, in dem zwischen den Interdigitalelektroden eine sensitive Schicht oder ein Mehrschichtsystem vorgesehen wird. Als Anwendung ist hierbei zum Beispiel ein Feuchtesensor realisierbar, was durch die Abscheidung eines Polymers realisiert werden kann. Durch die Wasserauf-

nahme des Polymers ändert sich die Dielektrizitätskonstante, was über eine Kapazitätsänderung festgestellt werden kann. Der unter der Interdigitalstruktur liegende Heizwiderstand dient dazu, die im polymer angesammelte Feuchtigkeit wieder zu entfernen, um so die sensitive Schicht wieder zu regenerieren. Neben der Anwendung als Feuchtesensor sind auch allgemein chemische Sensoren im Bereich der Fluid- oder Gasanalytik realisierbar. Eine Reihe sensitiver Schichten, zum Beispiel Metalloxide, müssen für ihren Betrieb geheizt werden, was durch den untenliegenden Heizwiderstand gesteuert und durch den Temperaturwiderstand überwacht werden kann.

Die Erfindung betrifft auch ein Verfahren zur direkten Siedepunktsbestimmung in Flüssigkeiten. Ein praktisches Einsatzgebiet ist hier zum Beispiel die Feststellung der Qualität von Bremsflüssigkeiten in Kraftfahrzeugen. Bei dem erfindungsgemäßen Meßverfahren wird über einen mikrostrukturierten Heizwiderstand ein kleines Flüssigkeitsvolumen vorzugsweise innerhalb einer dreidimensionalen, interdigitalen Elektrodenstruktur erhitzt und die Temperatur über einen mitintegrierten, mikrostrukturierten Temperaturwiderstand gemessen. Mit Hilfe der interdigitalen Elektrodenstruktur wird die Kapazität und der Widerstand der Flüssigkeit bei Gleichstrom und unterschiedlichen Meßfrequenzen bestimmt. Da diese Größen temperaturabhängig sind, ergibt sich mit steigender Temperatur eine höhere Kapazität und ein niedrigerer Widerstand. Im Bereich des Siedepunktes der Flüssigkeit ergibt sich ein umgekehrtes Verhalten. Der Widerstand steigt mit Erwärmung und die Kapazität sinkt. Im Extremfall siedet die Flüssigkeit zwischen den Elektroden, was mit einer Gasbildung verbunden ist. Da die Gasbläschen ein deutlich verschiedenes dielektrisches Verhalten als die Flüssigkeit haben, ergeben sich deutlich Kapazitätsverringerungen und Widerstandserhöhungen beim Sieden. Aus diesen Kapazitäts- und Widerstandsveränderungen wird über den mitintegrierten Temperaturwiderstand die Siedetemperatur bestimmt. Durch den Sensor gemäß des Hauptanspruchs tritt vorteilhafterweise durch die miniaturisierte Struktur nur ein geringer Wärmeeintrag in die Flüssigkeit auf. Weiterhin ist aufgrund der geringen Wärmekapazität der Gesamtstruktur eine sehr schnelle Messung im Sekundenbereich möglich.

Die Erfindung betrifft auch ein Verfahren zur Herstellung eines Sensors mit einer auf dem Substrat befindlichen, dreidimensionalen interdigitalen Elektrodenanordnung, insbesondere eines vorgenannten Sensors, wobei auf einer Fläche des Substrats, der Vorder- oder Rückseite, ein Temperatur- und gegebenenfalls ein Heizwiderstand, vorzugsweise aus Platin, Nickel, TaNi oder Silber und auf der gleichen oder der anderen Substratseite eine dreidimensionale, interdigitale Elektrodenanordnung, beispielsweise aus Platin oder Gold für stark korrosiv wirkende Medien oder Silber, Kupfer, Nickel, Aluminium für weniger stark korrosiv wirkende Medien angeordnet wird. Das erfindungsgemäße Verfahren sieht eine Kombination verschiedener Sputter-, Ätz-, Passivier-, Galvanik- und photolithographie-Schritte vor. Das Verfahren kann im geschilderten Umfang auch für die Herstellung vereinfachter Sensorstrukturen ohne Heizwiderstand verwendet werden.

Die Erfindung sieht insbesondere gemäß einer bevorzugten Ausführungsform vor, vor dem Aufbringen des Temperaturwiderstandes auf einer Fläche des Substrats, beispielsweise der Rückseite, und der Elektrodenanordnung auf dessen anderer Fläche, beide Flächen des Substrats mit SiO_2 und Si_3N_4 zu beschichten.

In besonders vorteilhafter Weise ist vorgesehen, auf beispielsweise der Rückseite des Substrats den Temperaturwiderstand herzustellen, indem auf die vorzugsweise vorhandene

dene SiO_2 - und Si_3N_4 -Schicht eine Haft- und eine Platinschicht aufgesputtert wird. Im Anschluß daran wird ein Resistmaterial aufgebracht und strukturiert. Anschließend erfolgt ein Ätzen der Platinschicht zur Strukturierung des Temperaturwiderstandes und ein Passivieren des Temperaturwiderstandes mit SiO_2 . Im Anschluß an den passivierungsschritt sieht die Erfindung vorteilhafterweise und in bevorzugter Ausführungsform vor, den Temperaturwiderstand zur Einstellung und Stabilisierung des Temperaturkoeffizienten zu tempern.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist ein vorgenanntes Verfahren vorgesehen, wobei die dreidimensionale, interdigitale Elektrodenanordnung auf vorzugsweise der Vorderseite des Substrats hergestellt wird, indem zunächst ein Elektrodenbereich auf der Substratvorderseite photolithographisch definiert wird. In dem so definierten Bereich wird die dort vorzugsweise vorhandene SiO_2 - und Si_3N_4 -Schicht geätzt. Anschließend erfolgt ein Aufputtern einer Haft- und einer Galvanikstartschicht. Im Anschluß an das Aufputtern wird eine, vorzugsweise dicke, Resistschicht für die Ausgestaltung der Elektrodenanordnung so strukturiert, daß Resistgräben ausgebildet werden. Die so hergestellten Resistgräben werden mit Elektrodenmaterial ausgalvanisiert. Anschließend wird die Resistmaske entfernt und die Galvanikstartschicht geätzt. Nach dem darauffolgenden anisotropen Ätzen des Siliziumsubstrats im Bereich der Elektrodenanordnung erfolgt vorzugsweise ein Freilegen der Kontaktverbindungen und ein Verzinzen der Sensoren.

Zeichnungen

Die Erfindung wird anhand von Ausführungsbeispielen mit Bezug auf die Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 die Ansicht eines erfindungsgemäßen Sensors;

Fig. 2 die Seitenansicht eines erfindungsgemäßen Sensors, basierend auf einem Siliziumsubstrat;

Fig. 3 die Seitenansicht eines erfindungsgemäßen Sensors basierend auf Glas, Keramik oder Kunststoffsubstraten;

Fig. 4 die Ansicht eines erfindungsgemäßen Sensors basierend auf einem Siliziumsubstrat, wobei innerhalb der Interdigitalstruktur eine sensitive Schicht vorgesehen ist;

Fig. 5 die Ansicht eines erfindungsgemäßen Sensors basierend auf Glas, Keramik oder Kunststoffsubstraten, wobei innerhalb der Interdigitalstruktur eine sensitive Schicht vorgesehen ist;

Fig. 6 die Verfahrensschritte zur Herstellung eines erfindungsgemäßen Sensors;

Fig. 7 die Ansicht eines erfindungsgemäßen Sensors ohne Heizwiderstand, Temperaturwiderstand und Interdigitalelektroden befinden sich auf einer Substratseite, wobei das Substrat durchgeätzt ist;

Fig. 8 die Vorderseite eines erfindungsgemäßen Sensors ohne Heizwiderstand mit Durchätzung des Substrats. Temperaturwiderstand und Interdigitalelektroden befinden sich auf unterschiedlichen Substratseiten;

Fig. 9 die Rückseite eines erfindungsgemäßen Sensors ohne Heizwiderstand mit Durchätzung des Substrats. Temperaturwiderstand und Interdigitalelektroden befinden sich auf unterschiedlichen Substratseiten und

Fig. 10 die Verfahrensschritte zur Herstellung eines erfindungsgemäßen Sensors ohne Heizwiderstand, strukturiert auf beiden Seiten des Substrats.

Beschreibung der Ausführungsbeispiele

Die Fig. 1 zeigt ein Substrat 2, zum Beispiel aus Silizium, Glas, Keramik oder Kunststoff. Auf dem Substrat 2 ist gege-

benenfalls über weitere Isolations- und Haftschichten 102 (bei Verwendung von Silizium als Substrat) ein mäanderförmiger Heizwiderstand 42 strukturiert, um den ein auch mäanderförmiger Temperaturwiderstand 24 vorzugsweise aus Platin, Nickel, TaNi, oder Silber angeordnet ist. Zur Isolation ist auf dem Heizwiderstand 42 und auf dem Temperaturwiderstand 24 eine Passivierungsschicht 100 vorgesehen. Zur besseren Wärmeübertragung findet hier ein Material Verwendung, welches neben guten Isolations- auch guter Wärmeleitungseigenschaften hat. Auf der Passivierungsschicht 100 ist über dem Heizwiderstand 42 eine dreidimensionale, interdigitale Elektrodenanordnung 4 vorgesehen. Dargestellt ist weiterhin eine Haft- und Galvanikstartschicht 110.

Die Fig. 2 stellt einen erfindungsgemäßen Sensor in Seitenansicht dar, wobei hierbei Silizium als Substrat 2 verwendet wird. Der Sensor umfaßt die interdigitale Elektrodenstruktur 4, den Heizwiderstand 42 und den Temperaturwiderstand 24 sowie zusätzliche Isolations-, Haft- und Kontaktschichten. Um eine möglichst geringe Erwärmung der Flüssigkeit und damit auch eine geringe Verlustleistung des Sensors zu erreichen, sind der Heizwiderstand 42, der Temperaturwiderstand 24 und die interdigitale, dreidimensionale Elektrodenstruktur 4 auf einer SiO_2 , Si_3N_4 -Membran 104 angeordnet. Die Membran 104 wird durch anisotropes Ätzen des Siliziumsubstrats 2 realisiert.

Die Fig. 3 zeigt einen erfindungsgemäßen Sensor in Seitenansicht, wobei hierbei Glas oder Kunststoff als Substratmaterialien verwendet werden. Der Sensor umfaßt die interdigitale Elektrodenstruktur 4, den Heizwiderstand 42 und den Temperaturwiderstand 24 sowie zusätzlich Isolations-, Haft- und Kontaktschichten. Aufgrund der geringen Wärmeleitfähigkeit des Substrats 2 ("thermische Isolatoren") findet die Erwärmung der Flüssigkeit im wesentlichen direkt über dem Heizwiderstand 42 innerhalb der Interdigitalstruktur 4 statt. Die Anordnung von Heizwiderstand 42, Temperaturwiderstand 24 und Interdigitalelektroden 4 auf einer Membran ist nicht notwendig.

Die Fig. 4 und 5 zeigen jeweils eine Seitenansicht eines erfindungsgemäßen Sensors, bei dem zwischen den Interdigitalelektroden 4 eine sensitive Schicht 106 oder ein Mehrschichtsystem abgeschieden wurde. Fig. 4 zeigt eine Ausführung für ein Siliziumsubstrat 2, während Fig. 5 die Anordnung für andere Substratmaterialien wie Keramik, Glas oder Kunststoff darstellt.

Die Fig. 6 verdeutlicht die Herstellungsweise eines erfindungsgemäßen Sensors.

Der Herstellungsprozeß bei Verwendung von Silizium als Substrat 2 umfaßt die folgenden Prozessschritte:

- a) Beidseitiges Beschichten des Siliziumsubstrats 2 mit SiO_2 3 und Si_3N_4 22;
- b) Strukturierung der SiO_2 - (3) und Si_3N_4 - (22) Schicht auf der Substratrückseite 5 (Definition der Bereiche für die spätere Membranätzung);
- c) Aufputtern einer Haft- und einer Metallschicht (zum Beispiel Platin) auf der Substratvorderseite 1;
- d) Strukturieren des Heizwiderstands 42 und des Temperaturwiderstands 24;
- e) Abscheidung einer Isolationsschicht 100 auf dem Heizwiderstand 42 und dem Temperaturwiderstand 24;
- f) Tempern des Platinwiderstandes zur Einstellung und Stabilisierung des Temperaturkoeffizienten;
- g) Öffnen der Kontaktbereiche 150 in der Isolationsschicht 100 für den Heizwiderstand 42 und den Temperaturwiderstand 24;
- h) Aufputtern einer Haft- und einer Startschicht 110 auf die Isolationsschicht 100;

- i) Strukturieren einer dicken Resisttschicht als Galvanoform für die Interdigitalelektroden 4;
- j) Ausgalvanisieren der Resistgräben mit Metall;
- k) Entfernen der Resistmaske und Ätzen der Startschicht 110;
- l) Gegebenenfalls Abscheiden einer sensitiven Schicht innerhalb der Interdigitalelektroden 4;
- m) Membranätzung des Siliziumsubstrats 2 (anisotropes Ätzen) von der Substratrückseite 5 und
- n) Vereinzeln der Sensoren.

Bei Verwendung anderer Substratmaterialien wie Glas, Keramik, Kunststoff anstelle von Silizium umfaßt die Herstellung nur die Prozeßschritte c) bis k) und n).

Im folgenden werden die Verfahrensschritte a) bis n) näher erläutert.

zu a) Das Verfahren geht aus von einem beidseitig poliertem Siliziumsubstrat 2, auf dem zunächst durch thermische Oxidation eine SiO_2 -Schicht 3 erzeugt wird. Darauf wird mit LPCVD eine dünne Si_3N_4 -Schicht 22 abgeschieden. Die Oxid- und die Nitridschicht dienen als Isolation zum Substrat 2 und in späteren Schritten als Ätzmaske auf der Substratrückseite 5. Die Dicken beider Schichten sind so zu wählen, daß sie beim späteren Ätzen des Siliziumsubstrats 2 (Prozeßschritt 1) eine ausreichend stabile Membran bilden und sich die Zug- und Druckspannungen innerhalb des Schichtsystems kompensieren.

zu b) Auf der Substratrückseite 5 werden photolithographisch Bereiche definiert, in denen das Si_3N_4 durch einen Trockenätzprozeß und darunter liegendes SiO_2 naßchemisch entfernt werden. In diesen nun unmaskierten Silizium-Bereichen wird später von der Rückseite 5 aus die Membran geätzt.

zu c) Auf die Substratvorderseite 1 wird zunächst eine Haftschrift und dann eine Metallschicht, vorzugsweise Platin, aufgesputtert. Als Haftschrift für Platin kann zum Beispiel Silizium verwendet werden, es sind jedoch auch andere Metalle wie zum Beispiel Titan verwendbar.

zu d) Auf die Platinschicht wird ein Resistmaterial durch Aufschleudern oder Laminieren aufgebracht und über einen Photolithographieschritt strukturiert. Es wird dabei eine photolithographische Maske verwendet, die sowohl das Layout des Temperaturwiderstands 24 als auch des Heizwiderstands 42 enthält. Die Platinschicht wird in den resistfreien Bereichen zum Beispiel durch reaktives Ionenstrahlätzen oder durch ein naßchemisches Verfahren geätzt. Im Anschluß daran wird die Resistmaske entfernt.

zu e) Auf die strukturierte Platinschicht, welche nun den Temperaturwiderstand 24 und den Heizwiderstand 42 enthält, wird eine Isolationsschicht 100 aufgebracht. Diese Schicht 100 soll elektrisch gut isolierend sein und eine gute Wärmeleitfähigkeit aufweisen. Als Abscheidungsverfahren kommen sowohl CVD-Verfahren als auch Aufschleudermethoden in Frage. Diese Isolationsschicht 100 dient als Passivierung und soll zusätzlich eine Koagulation des Platins beim nachfolgenden Tempersschritt verhindern.

zu f) Die Platinschicht wird bei hohen Temperaturen künstlich gealtert, um so eine Einstellung und eine Langzeitstabilität des spezifischen Temperaturkoeffizienten zu erreichen.

zu g) über ein weiteren Photolithographieschritt werden in der Isolationsschicht 100 durch naßchemische Ätzung Fenster 150 im Bereich der Kontaktpads geöffnet. Anschließend wird der Photoresist entfernt.

zu h) Auf die Substratvorderseite 1 werden eine Haft- und eine Galvanikstartschicht 110 aufgesputtert. Typischerweise kann hier für ein Schichtsystem aus Cr und Au oder aus Ti, Wolfram und Au verwendet werden. Bei besonders hohen

Anforderungen an die Korrosionsbeständigkeit wird als Startschicht 110 Platin verwendet, das genauso wie auf der Rückseite 5 aufgebracht werden kann.

zu i) Es wird eine dicke Resisttschicht durch Aufschleudern oder Laminieren aufgebracht, die photolithographisch oder durch Ätzung strukturiert wird. Die Elektrodenstrukturen 4 werden dabei als Gräben dargestellt.

zu j) Die Resistgräben werden galvanisch aufgefüllt. Das abzuscheidende Material ist vom dem jeweiligen Anwendungszweck abhängig. Für stark korrosiv wirkende Medien kommen Platin und Gold als Elektrodenmaterial in Frage, während für geringere Anforderungen auch Silber, Kupfer oder Aluminium verwendbar sind. Die Startschicht 110, die in Prozeßschritt h) aufgebracht wurde, ist jeweils abhängig von dem aufzugalvanisierenden Metall.

zu k) Nach dem Entfernen der Resisttschicht wird die Startschicht 110 selektiv oder durch Differenzätzen außerhalb der Elektrodenbereiche entfernt. Dabei werden die elektrischen Verbindungen zwischen den Elektroden aufgehoben.

zu l) Falls es für die Anwendung vorgesehen ist, beispielsweise beim Feuchtesensor oder einem chemisch sensitiven Sensor, wird in diesem Prozeßschritt ein sensitives Material zwischen den Interdigitalelektroden 4 abgeschieden. Dies kann zum Beispiel durch einen Siebdruckprozeß, durch Aufschleudern oder durch einen CVD-Prozeß durchgeführt werden. Möglicherweise ist eine Strukturierung der sensitiven Schicht durch einen Ätzschritt oder mit Hilfe photolithographischer Verfahren notwendig.

zu m) Unter Benutzung einer speziellen Ätzdose, bei der die Substratvorderseite 1 von der Ätzlösung getrennt und damit geschützt ist, wird der Silizium-Wafer von der Rückseite 5 anisotrop geätzt (KOH oder TMAH-Ätzung). Durch diesen Schritt wird die Membran realisiert. Als Maskierung dient die in b) strukturierte Nitrid/Oxidschicht 3,22.

zu n) Nach Abschluß der Ätzung werden die Sensoren auf dem Wafer durch Sägen vereinzel.

Bei Verwendung anderer Substratmaterialien wie Glas, Keramik, Kunststoff wird analog verfahren, wobei die Schritte a), b), l), und m) ersatzlos entfallen. Die Anforderungen an das Substrat sind lediglich eine gute Ebenheit und eine geringe Rauigkeit der Substratvorderseite 1.

Die Fig. 7 zeigt eine vereinfachte Ausführung des erfindungsgemäßen Sensors, wobei auf den Heizwiderstand 42 verzichtet wird. Für einige Anwendungen, zum Beispiel Analyse von Benzin/Methanolgemischen, Überwachung von Kühlflüssigkeit oder Motoröl, ist eine Erwärmung des Fluids nicht notwendig. In diesem Fall kann der Heizwiderstand 42 in der Gesamtstruktur weggelassen werden. Weiterhin wird auf die Ätzung einer Membran verzichtet, da dann eine niedrige Wärmekapazität des Sensors bedeutungslos ist. Die Herstellungsabfolge wie in Fig. 6 beschrieben bleibt nahezu dieselbe, da sowohl der Heizwiderstand 42 als auch der Temperaturwiderstand 24 während eines Prozeßschrittes strukturiert werden. Es entfallen die Prozeßschritte b) und m). Das Weglassen des Heizwiderstandes 42 in der Sensorstruktur (Fig. 7) bietet die Möglichkeit, die interdigitalen Elektroden 4 auch von der Substratseite aus freizulegen, um so eine bessere Fluidankopplung und damit eine höhere Sensorempfindlichkeit zu erreichen. Die Durchätzung 120 des Substrats wird auf naßchemischen Wege durch KOH- oder TMAH-Ätzung realisiert. Selbstverständlich kann auch auf die Durchätzung 120 verzichtet werden. Für die Herstellung dieser Struktur wird wie in Fig. 6 beschrieben vorgegangen. Es ändern sich neben dem Layout (der Platinwiderstand 24 liegt nicht direkt unter den Interdigitalelektroden 4) in der Prozeßabfolge die Schritte b) und m):

zu b) In diesem Prozeßschritt wird auf der Substratoberseite 1 ein Fenster für die später folgende anisotrope Durchätzung 120 des Siliziumsubstrats 2 in der Nitridschicht 22 und Oxidschicht 3 geöffnet.

zu m) Die auf der Substratoberseite 1 verbliebene und im Schritt b) strukturierte Nitridschicht 22 und Oxidschicht 3 wird bei diesem Herstellungsschritt als Maskierung für das Durchätzen 120 des Siliziumwafers mit KOH oder TMAH benutzt. Da bei der Ätzung auch ein Teil der Maskierung abgetragen wird, muß eine ausreichende Schichtdicke der Si_3N_4 -Schicht 22 und SiO_2 -Schicht 3 gewährleistet sein.

Neben der Anordnung von Interdigitalelektroden 4 und Temperaturwiderstand 24 auf einer Substratfläche ist es auch möglich, die beiden Elemente auf unterschiedlichen Flächen des Substrats 2 anzuordnen. Dies kann dann von Vorteil sein, wenn der Temperaturwiderstand 24 inklusiv seiner Passivierungsschicht 100 nicht in direkten Kontakt mit dem Fluid kommen soll. Für diesen Fall sieht die Erfindung ein Sensorgehäuse vor, bei dem nur die Interdigitalstruktur 4 in Kontakt mit dem Fluid kommt.

Die Fig. 8 zeigt die Vorderseite eines Substrats 2 aus Silizium. Auf der Vorderseite 1 ist die interdigitale Elektrodenanordnung 4 aus Gold zwischen Kontaktpads 8 angeordnet. Die interdigitale Elektrodenanordnung 4 ist in einem durchgeätzten Bereich 6 des Substrats 2 angeordnet, der einen Durchbruch durch das gesamte Substrat 2 darstellt, so daß die Elektrodenanordnung frei über dem durchgeätzten Bereich 6 steht. Dies dient der Vermeidung von Verschmutzungen und zur besseren Ankopplung des Fluids an die Elektrodenanordnung 4. Dargestellt ist ferner eine Isolations-, Haft- und Kontaktschicht 10 sowie der Platin-Temperaturwiderstand 24 auf der Rückseite 5 des Substrats 2.

Die Fig. 9 stellt die Rückseite 5 des Substrats 2 dar. Dargestellt ist die durch den durchgeätzten Bereich 6 sichtbare, auf der Vorderseite 1 des Substrats 2 angeordnete, interdigitale Elektrodenanordnung 4. Die Fig. 9 verdeutlicht ferner die Anordnung eines Platin-Temperaturwiderstands 24 auf der Rückseite 5 des Substrats. Der Temperaturwiderstand 24 ist mäanderrförmig angeordnet und dient der Messung der Temperatur in einer Flüssigkeit oder einem Gas. Der Temperaturwiderstand 24 ist mittels einer SiO_2 -Schicht 18 passiviert. Dargestellt sind ferner die lateral zu dem Temperaturwiderstand 24 angeordneten Kontaktelektroden 16 sowie eine Isolations-, Haft- und Kontaktschicht 14.

Die Fig. 10 verdeutlicht die Herstellungsweise eines erfindungsgemäßen Sensors.

Aus der Fig. 10A kann entnommen werden, daß zunächst das beidseitig polierte Substrat 2 aus Silizium beidseitig mit SiO_2 3 und Si_3N_4 22 beschichtet wird. Auf dem Substrat 2 wird zunächst auf beiden Flächen 1,5 durch thermische Oxidation eine SiO_2 -Schicht erzeugt. Anschließend wird ebenfalls auf beiden Flächen 1,5 mit LPCVD eine dünne Si_3N_4 -Schicht 22 abgeschieden. Die SiO_2 -Schichten 3 und die Si_3N_4 -Schichten 22 dienen als Isolation zum Substrat 2 und in späteren Schritten als Ätzmaske auf der Substratvorderseite 1. Die Dicken der Schichten 3,22 sind so zu wählen, daß sie bei dem späteren Ätzen des Siliziumsubstrats 2 nicht vollständig abgetragen werden und sich die Zug- und Druckspannungen innerhalb des Schichtsystems kompensieren.

Auf die auf der Rückseite 5 des Substrats 2 angeordnete Si_3N_4 -Schicht 22 wird anschließend eine Haftschiicht und dann eine Platinschicht 240 aufgesputtert. Als Haftschiicht kann zum Beispiel Silizium verwendet werden, wobei jedoch auch andere Metalle, wie Titan, verwendet werden können.

Anschließend wird auf die Platinschicht 240 ein Resistmaterial 26 durch Aufschleudern oder Laminieren aufge-

bracht und über einen Photolithographie- oder einen Ätzschritt strukturiert. Im Falle des Ätzens ist eine zusätzliche Maskierung aufzubringen und zu strukturieren. Für diesen Verfahrensschritt wird in jedem Fall eine photolithographische Maske verwendet, welche die Struktur des Temperaturwiderstands 24 widerspiegelt. Anschließend wird die Platinschicht 240 in den resistfreien Bereichen -zum Beispiel durch reaktives Ionenstrahlätzen oder durch ein naßchemisches Verfahren- geätzt. Im Anschluß daran wird die Maske aus Resistmaterial 26 entfernt (Fig. 10B).

Auf den aus der Platinschicht 240 strukturierten Temperaturwiderstand 24 wird nun eine SiO_2 -Schicht 18 mit einem CVD-Verfahren abgeschieden. Die SiO_2 -Schicht 18 dient als Passivierung und soll eine Koagulation des Platins beim nachfolgenden Tempersschritt verhindern. Im Tempersschritt wird der Temperaturwiderstand 24 bei hohen Temperaturen künstlich gealtert, um so eine Einstellung und die Langzeitstabilität des spezifischen Temperaturkoeffizienten zu erreichen (24', Fig. 10C).

Aus der Fig. 10B werden auch die ersten Verfahrensschritte zur Herstellung der interdigitalen Elektrodenanordnung 4 deutlich. Zunächst wird ein Ausschnitt 31 auf der Substratvorderseite 1 photolithographisch mittels eines Photoresistmaterials 32 definiert, der in seiner Geometrie im wesentlichen dem durchzuätzenden Bereich 6 des Substrats 2 entspricht. Zusätzlich wird die Substratrückseite 5 mit einem Schutzlack überzogen. In dem durch das Photoresistmaterial 32 nicht geschützten Bereich werden die SiO_2 -Schicht 3 und die Si_3N_4 -Schicht 22 entfernt, was mittels naßchemischer Ätzung und durch Trockenätzung erreicht wird. Anschließend wird das in der Figur nicht dargestellte Photoresistmaterial auf der Rückseite 5 und das Photoresistmaterial 32 auf der Vorderseite 1 des Substrats 2 entfernt.

Auf die Vorderseite 1 des Substrats 2 wird anschließend eine Haft- und Galvanikstartschicht 34 aufgesputtert. Die Haft- und Galvanikstartschicht kann ein Schichtsystem aus Chrom und Gold oder Titan, Wolfram und Gold sein. Bei besonders hohen Anforderungen an die Korrosionsbeständigkeit kann auch Platin verwendet werden, das in derselben Verfahrensweise, wie für die Rückseite 5 beschrieben, aufgebracht werden kann. Nachdem die Haft- und Galvanikstartschicht 34 aufgebracht wurde, wird eine dicke Resistschicht 36 durch Aufschleudern oder Laminieren aufgebracht, die anschließend photolithographisch oder durch Ätzung strukturiert wird. Die Struktur der Elektrodenanordnung 4 wird in dieser Weise als Gräben 38 vorgegeben (Fig. 10C).

Die Gräben 38 werden anschließend galvanisch aufgefüllt, wobei das abzuschheidende Metall von dem jeweiligen Anwendungszweck abhängig ist (Fig. 10D). Für stark korrosiv wirkende Medien kommen Platin oder Gold als Elektrodenmaterial in Betracht, während für geringere Anforderungen an die Korrosionsbeständigkeit auch Silber, Kupfer oder Aluminium einsetzbar sind. Das einzusetzende galvanisierende Metall ist auch bei der Auswahl der für die Ausbildung der Haft- und Galvanikstartschicht 34 in Betracht zu ziehenden Materialien zu beachten.

Nach dem Entfernen der Resistschicht 36 wird die Haft- und Galvanikstartschicht 34 selektiv oder durch Differenzätzen außerhalb der Elektrodenbereiche entfernt. Dadurch werden die elektrischen Verbindungen zwischen den Elektroden der Elektrodenanordnung 4 aufgehoben (Fig. 10D).

Die nun auf der Vorderseite 1 des Substrats 2 verbliebene strukturierte Si_3N_4 -Schicht 22 und SiO_2 -Schicht 3 wird bei dem nun folgenden Ätzschritt als Maskierung für das Durchätzen des Substrats 2 mit KAH oder TMAH verwendet (Fig. 10E). Bei diesem Ätzschritt wird auch ein Teil der Schichten 3 und 22 abgetragen, so daß eine ausreichende

Dicke dieser Schichten gewährleistet sein muß. Die Rückseite 5 des Sensors mit dem Platin-Temperaturwiderstand 24 muß während dieses Verfahrensschrittes ebenfalls mittels einer hier nicht dargestellten Markierung geschützt werden.

Nach Abschluß dieses Ätzschrittes werden in einem weiteren photolithographischen Verfahrensschritt die durch SiO_2 -Schichten abgedeckten Kontaktpads auf der Rückseite 5 des Substrats 2 freigelegt und anschließend die so hergestellten Sensoren vereinzelt.

Die Erfindung sieht in einer weiteren Ausgestaltung vor, daß durch Abscheiden eines Sensormaterials im Bereich der Elektrodenanordnung 4, die Beschichtung der Elektrodenanordnung 4 mit einer Sensorsubstanz oder einem katalytisch wirkenden Stoff oder durch das Aufrauen der Elektrodenanordnung 4 eine Erweiterung der Funktionalität des erfindungsgemäßen Sensors erreicht werden kann. Sofern die Zwischenräume der Elektrodenanordnung 4 mit einer Sensorsubstanz gefüllt werden sollen, ist selbstverständlich auf das Durchätzen des Substrats 2 zu verzichten.

Die vorstehend geschilderte Verfahrensweise, das heißt, die Kombination photolithographischer und galvanischer Verfahrensschritte, ermöglicht die Herstellung eines Sensors in hoher Präzision und in hoher Ausbeute. Die Verfahrensschrittfolge kann in vorteilhafter Weise so geführt werden, daß eine Siliziumauswertelektronik mit auf dem Substrat 2 integriert werden kann. Durch das geschilderte Strukturierungsverfahren können beliebige Elektrodengeometrien und auch Arrays verwirklicht werden. Während der galvanischen Verfahrensschritte können je nach Anwendungszweck beliebige Metalle oder Metallegierungen abgeschieden werden, so daß eine gute Anpassung des erfindungsgemäßen Sensors an das zu charakterisierende Medium möglich ist.

Patentansprüche

1. Sensor, insbesondere zur Leitfähigkeits- und Kapazitätsmessung in Gasen oder Flüssigkeiten, mit einer dreidimensionalen, interdigitalen, auf einem Substrat befindlichen Elektrodenanordnung, dadurch gekennzeichnet, daß der Sensor zusätzlich einen integrierten Temperaturwiderstand (24) aufweist.
2. Sensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Sensor zusätzlich einen integrierten Heizwiderstand (42) aufweist.
3. Sensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Temperaturwiderstand (24) ein Platin- oder Nickel- oder TaNi-Temperaturwiderstand ist.
4. Sensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Temperaturwiderstand (24) auf der Rückseite (5) des Substrats (2) angeordnet ist.
5. Sensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Substrat (2) aus einem mikrostrukturierbaren Substrat, wie Glas, Kunststoff, Keramik oder Silizium aufgebaut ist.
6. Sensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die vorzugsweise auf der Vorderseite (1) des Substrats (2) angeordnete Elektrodenanordnung (4) in einem durchätzten Bereich (6, 120) des Substrats (2) angeordnet ist.
7. Sensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektrodenanordnung (4) Platin, Gold, Silber, Kupfer oder Aluminium umfaßt.
8. Sensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen den Elektroden

der interdigitalen Elektrodenanordnung (4) eine sensitive Schicht (106) oder ein Mehrschichtsystem angeordnet ist.

9. Verfahren zur Herstellung eines Sensors mit einer auf einem Substrat (2), vorzugsweise einem Siliziumsubstrat, befindlichen dreidimensionalen interdigitalen Elektrodenanordnung, insbesondere eines Sensors nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei auf einer Fläche (1, 5) des Substrats mittels Sputter-, Photolithographie- und Ätzschritten ein Temperaturwiderstand (24), vorzugsweise aus Platin, Nickel oder TaNi, sowie gegebenenfalls ein Heizwiderstand (42) und auf einer vorzugsweise gegenüberliegenden Fläche des Substrats (2) mittels Photolithographie-, Sputter-, Ätz- und Galvanisierschritten eine dreidimensionale, interdigitale Elektrodenanordnung (4) aufgebracht wird.

10. Verfahren nach Anspruch 9, wobei vor dem Aufbringen des Temperaturwiderstandes (24) und der Elektrodenanordnung (4) das Substrat (2) beidseitig mit SiO_2 - und Si_3N_4 -Schichten (3, 22) überdeckt wird.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, daß der Temperaturwiderstand (24) aufgebracht wird, indem eine Haft- und Platin-, Nickel- oder TaNi-Schicht auf einer Fläche (1, 5), vorzugsweise der Rückseite (5), des Substrats (2) aufgesputtert, ein Resistmaterial auf der Platin, Nickel- oder TaNi-Schicht aufgebracht und strukturiert, die Platin, Nickel- oder TaNi-Schicht zur Strukturierung des Temperaturwiderstandes (24) geätzt und der so hergestellte Temperaturwiderstand (24) mittels einer SiO_2 -Schicht (100) passiviert und anschließend getempert wird.

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche 9 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektrodenanordnung (4) aufgebracht wird, indem auf einer Fläche (1, 5), vorzugsweise der Vorderseite (1), des Substrats (2) ein Ausschnitt des Elektrodenbereichs photolithographisch definiert, die vorzugsweise vorhandene SiO_2 - (3) und Si_3N_4 -Schicht (22) in diesem Bereich geätzt, eine Haft- und Galvanikstartschicht (110) aufgesputtert, ein anschließend aufgebrachtes Resistmaterial strukturiert, die entstehenden Gräben im Resistmaterial mit einem Elektrodenmetall ausgalvanisiert, das Resistmaterial entfernt, die Haft- und Galvanikstartschicht (110) geätzt, das Substrat (2) im Bereich der Elektroden anisotrop geätzt und die Kontaktpads freigelegt werden.

13. Verfahren zur direkten Siedepunktsbestimmung in Flüssigkeiten, wobei ein Flüssigkeitsvolumen innerhalb einer dreidimensionalen, interdigitalen auf einem Substrat (2) befindlichen Elektrodenanordnung (4) durch einen integrierten, mikrostrukturierten Heizwiderstand (42) erhitzt und die Temperatur der Flüssigkeit mittels eines ebenfalls im Substrat integrierten mikrostrukturierten Temperaturwiderstand (24) gemessen wird.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 9–13, dadurch gekennzeichnet, daß das Substrat (2) Silizium, Glas, Keramik oder Kunststoff ist.

Hierzu 7 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

Fig. 3

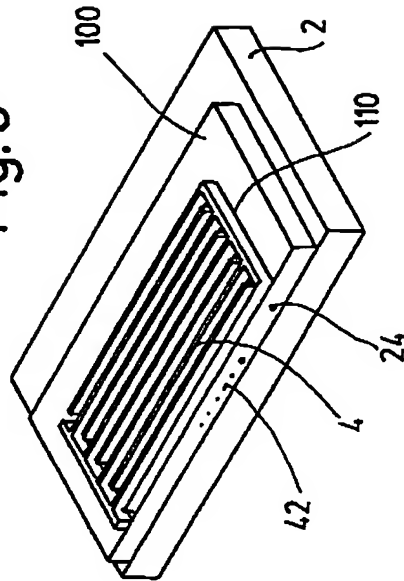


Fig. 2

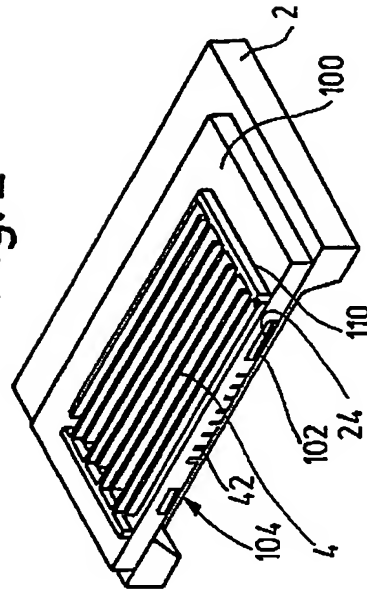
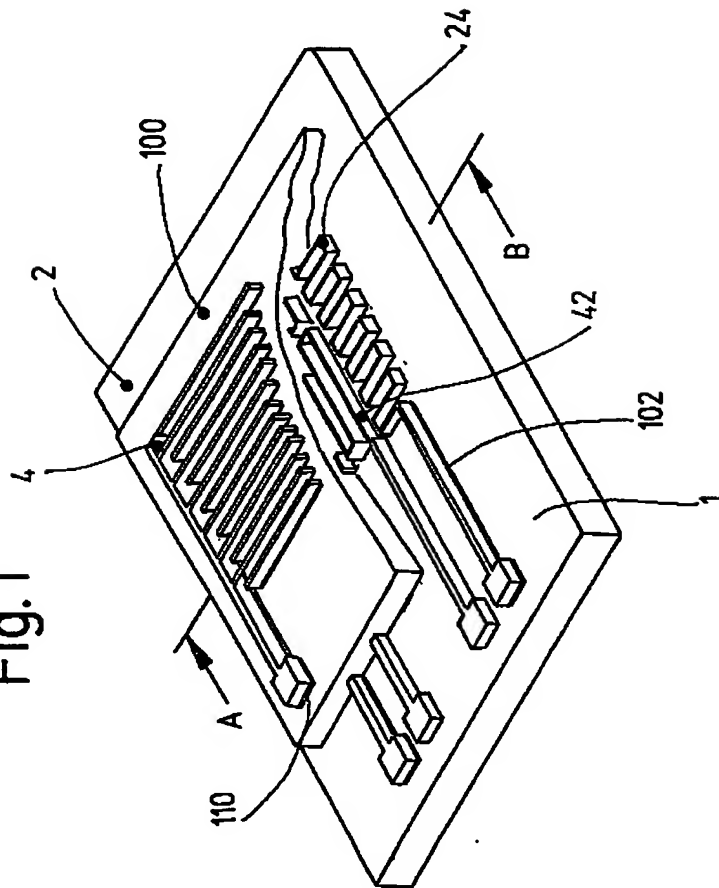


Fig. 1



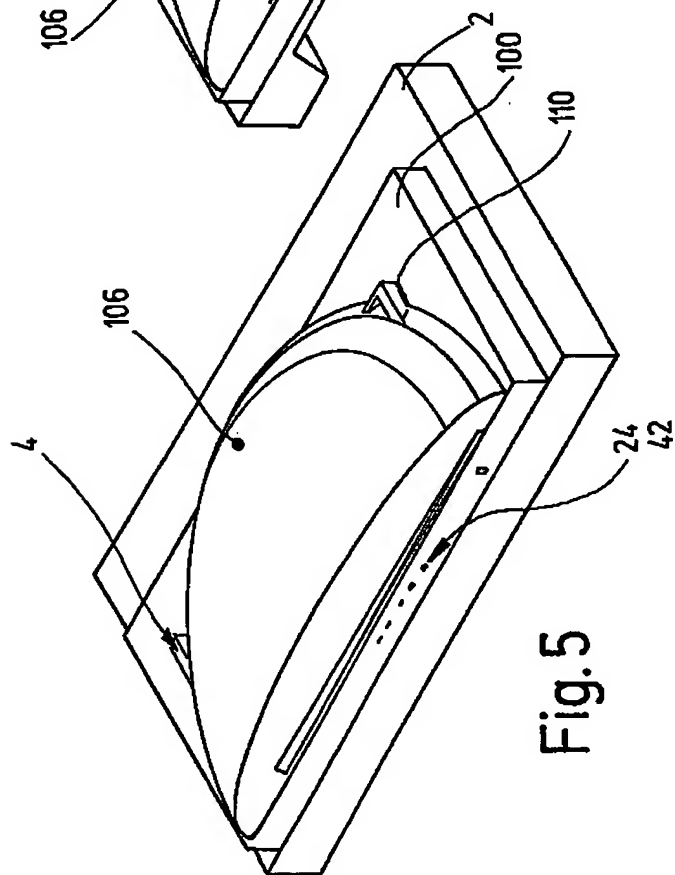
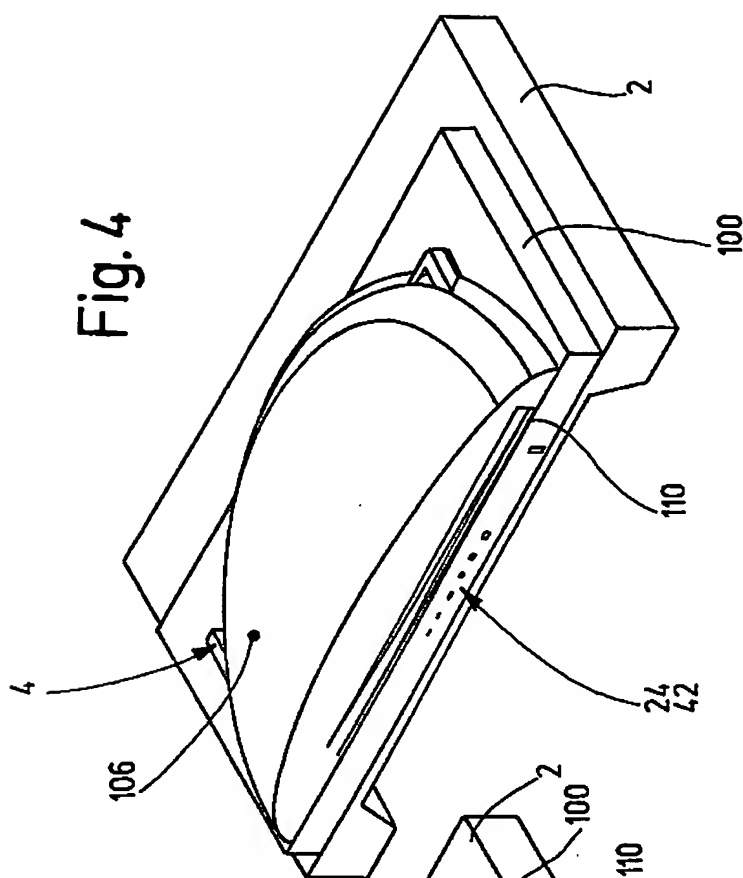


Fig. 6

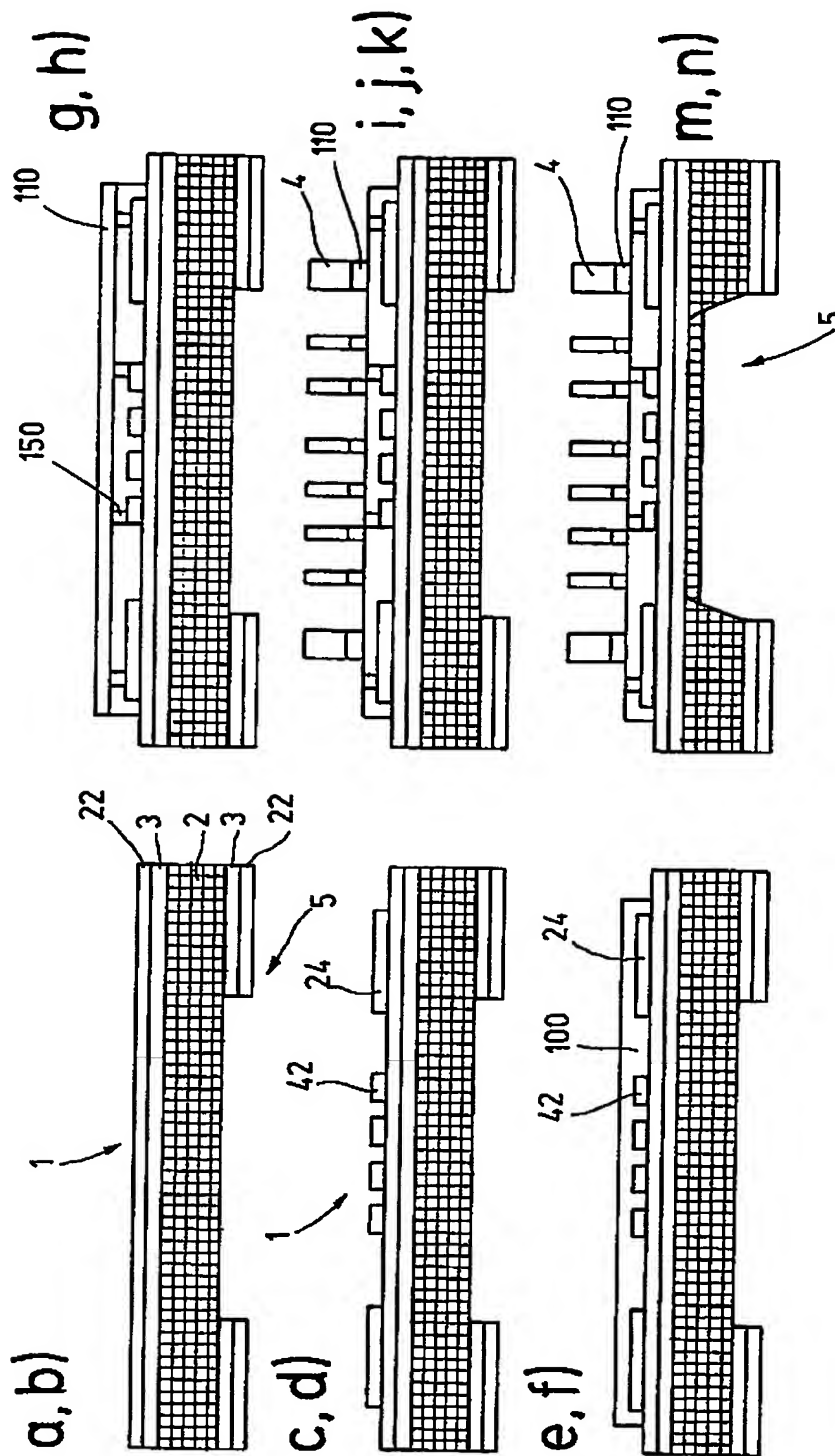
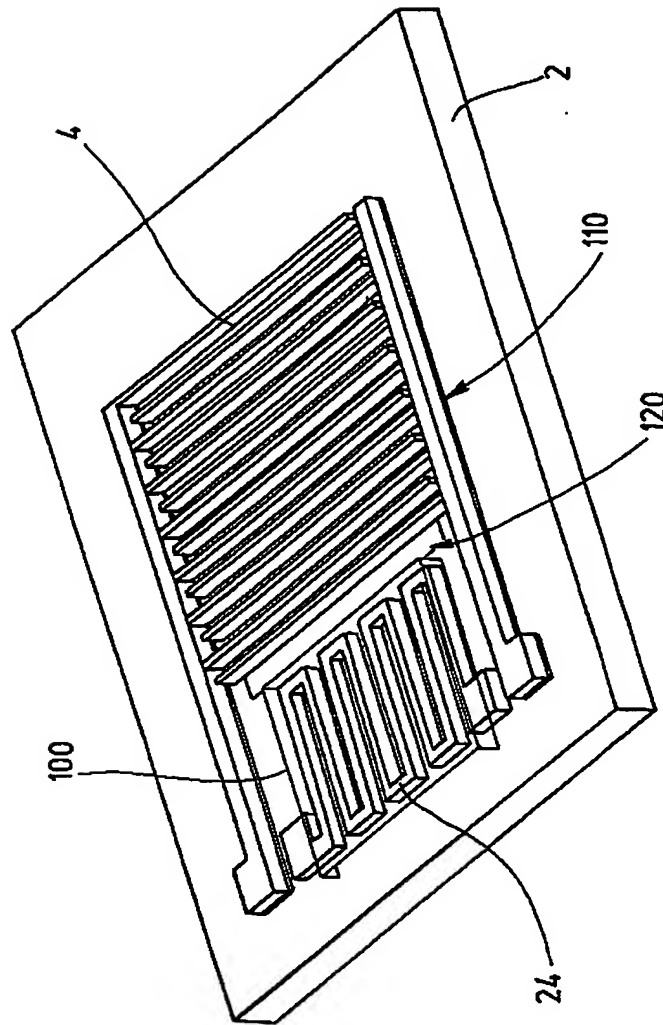


Fig. 7



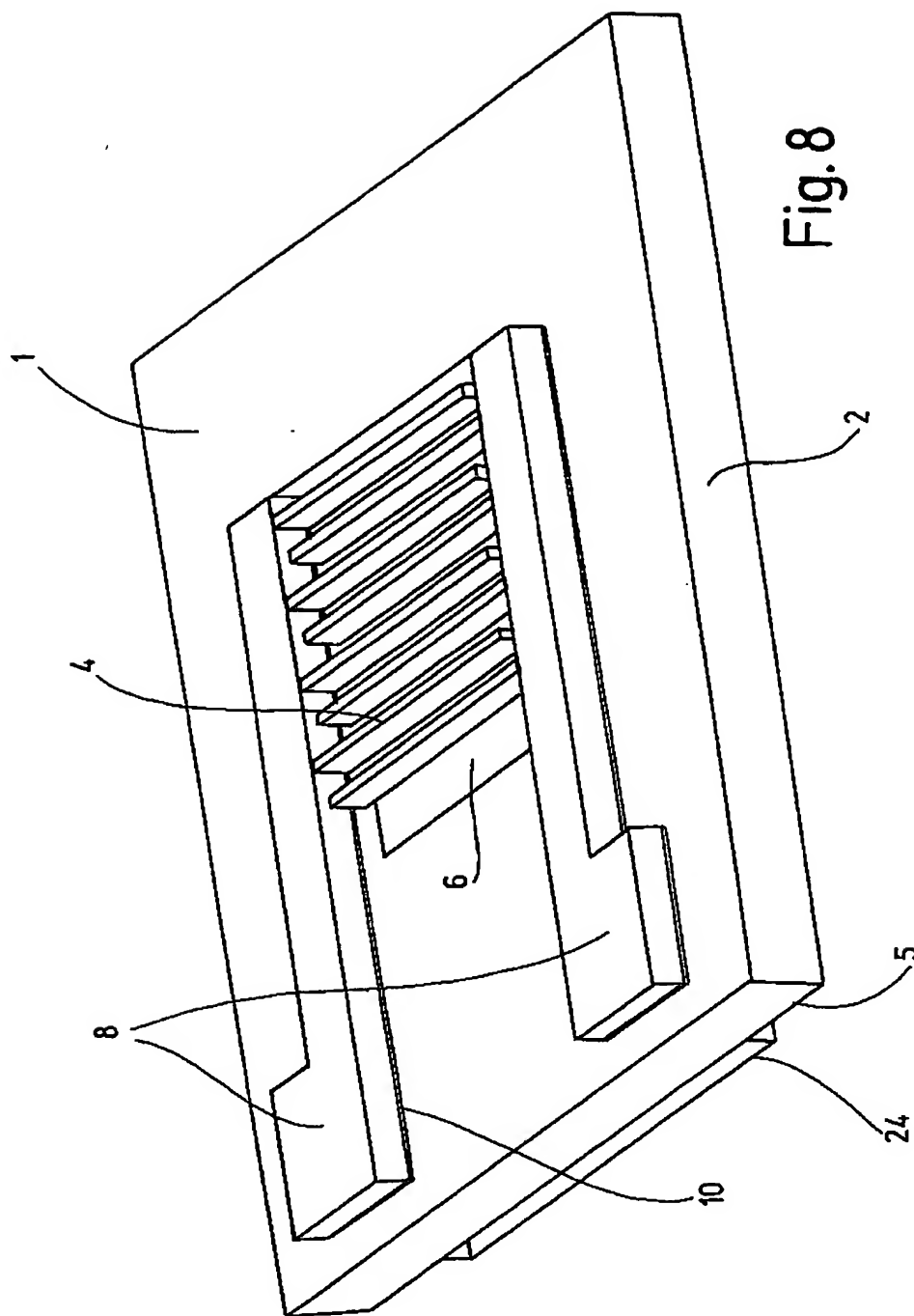


Fig. 8

Fig. 9

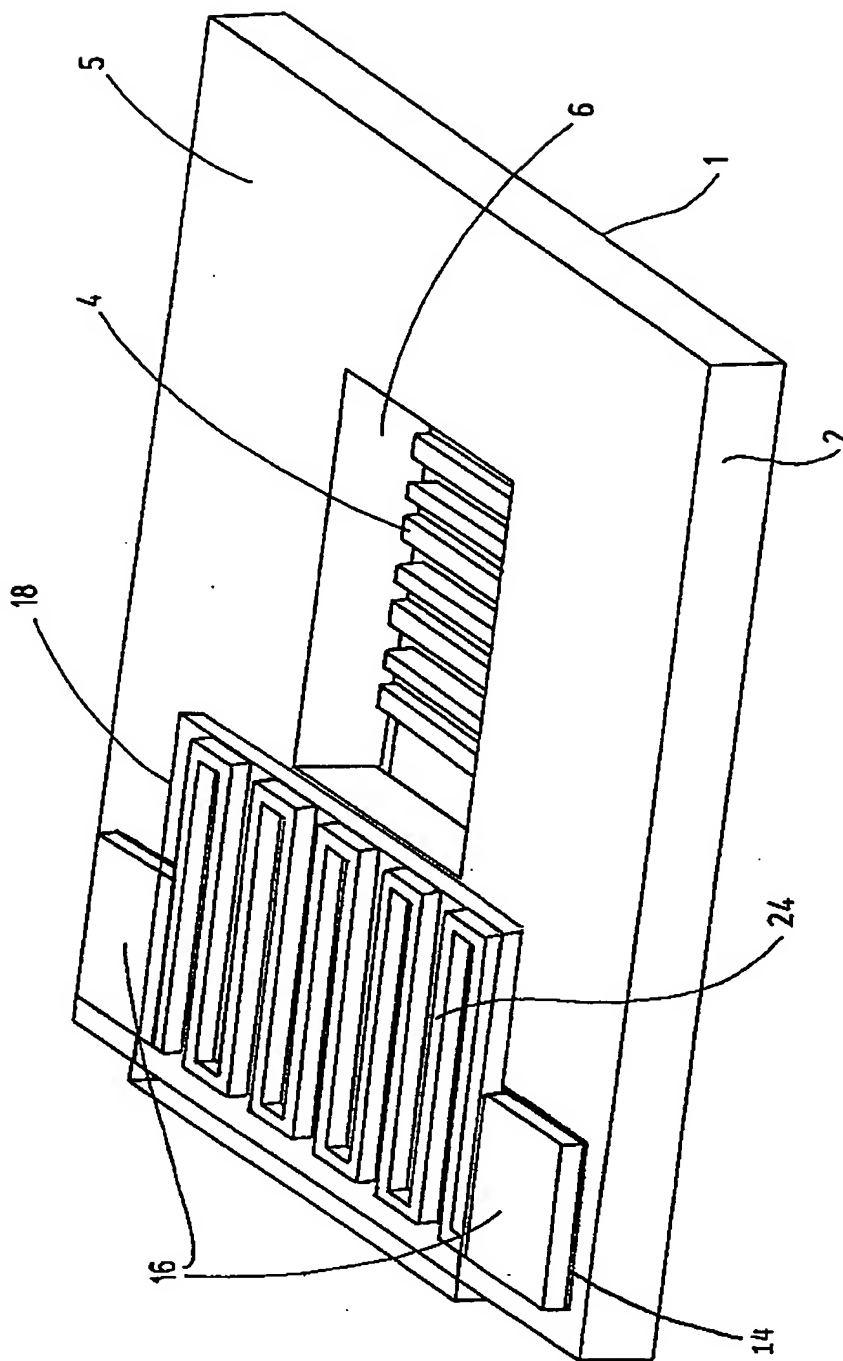


Fig. 10

